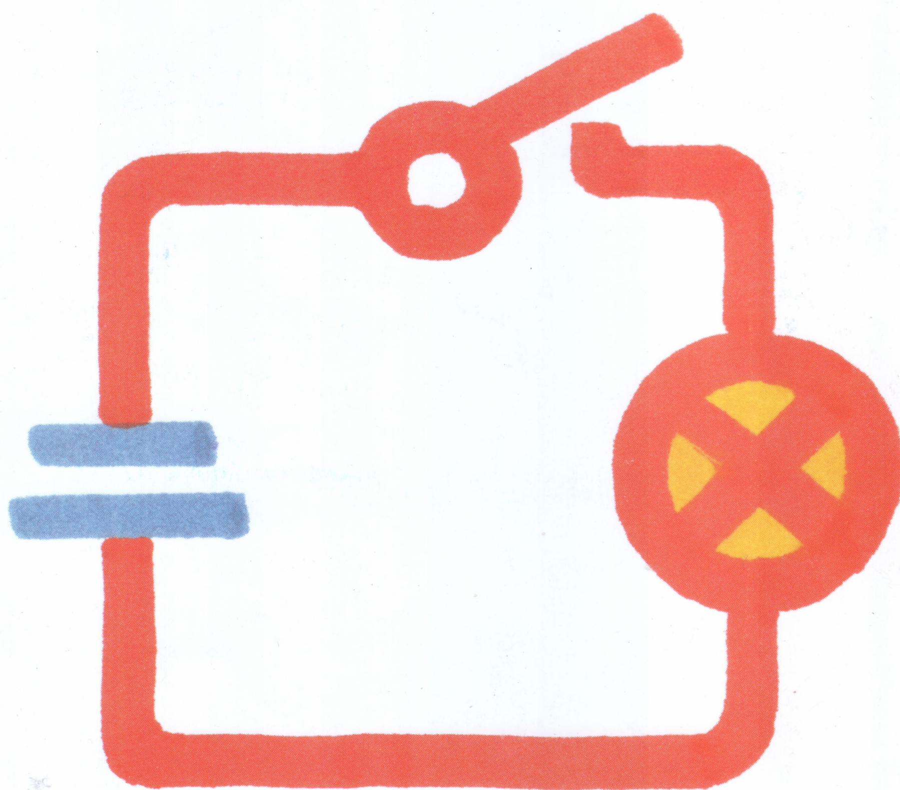
SIEMENS

ABC van de micro-elektronica



Inhoud

ABC van de micro-elektronica

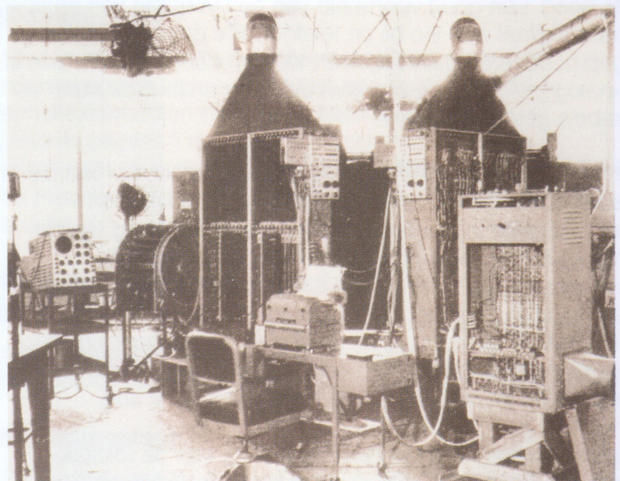
Van elektronica tot micro-elektronica

De ontwikkeling van de elektronica dateert uit het begin van deze eeuw. Met deze techniek worden de meest uiteenlopende zwakstroomschakelingen opgebouwd. Hiervoor werd onder meer gebruik gemaakt van componenten als weerstanden, condensatoren, spoelen en elektronenbuizen.
De componenten waren eerst op soldeerstrips bevestigd en onderling „wild" bedraad. Aparte modulen werden onderling door gekleurde draadbundels verbonden, de kabelbomen.
In de meeste schakelingen werden met de komst van de transistor in 1948 de elektronenbuizen vervangen door transistoren. Omstreeks 1950 werden de wilde bedradingen door printplaten met „gedrukte schakelingen" vervangen, de z.g. printed circuits. Deze bieden twee essentiële voordelen: een grotere betrouwbaarheid omdat losse draadverbindingen kwamen te vervallen en de mogelijkheid van geautomatiseerde massaproduktie.

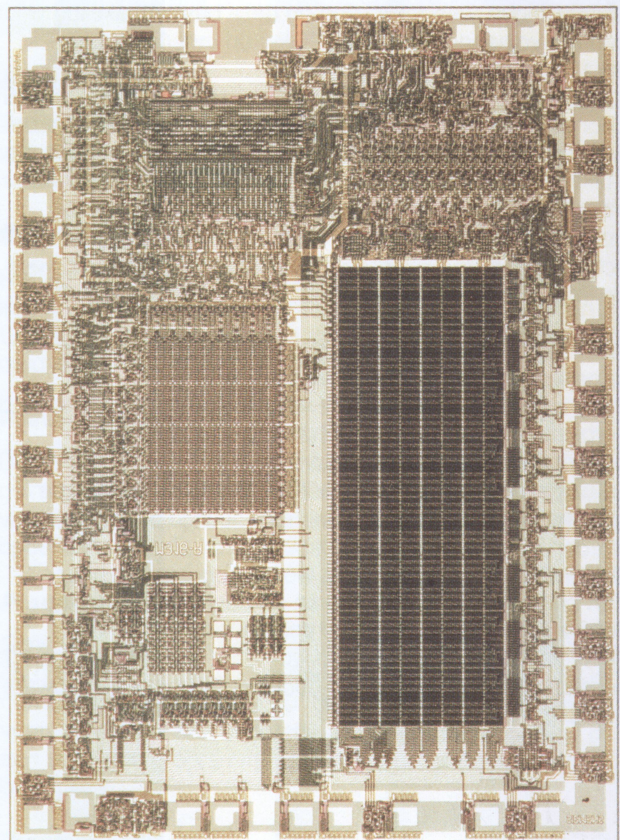
In het begin werden die printplaten nog voorzien van afzonderlijke componenten. In principe zou men hiermee een moderne, grote computer kunnen vervaardigen. Althans een schakeling die dezelfde prestaties kan leveren. Maar dan zou men wel een gehele zaal met elektronica moeten vullen. Bovendien betekent een dergelijke massale hoeveelheid afzonderlijke componenten dat zo'n computer om de paar uur defect zou raken.
De grote stap van de elektronica naar de micro-elektronica is de overgang van losse componenten naar geïntegreerde schakelingen. Deze bevatten namelijk een veelvoud van dergelijke componenten. En wel in een zeer verkleinde vorm op een klein siliciumkristal: de „chip".
Deze integratietechniek leidde tot

- hoge schakelcomplexiteit;
- minimale afmetingen;
- grote betrouwbaarheid;
- een besparing, die voordien niet mogelijk was.

Een klassiek voorbeeld is de ontwikkeling van de „grote" computer ENIAC tot de één-chip-microcomputer.



Afb. 1 De beroemde Amerikaanse computer ENIAC (1945) bestond uit 18.000 buizen, woog 30 ton, vereiste een eigen gebouw en had een opgenomen vermogen van 150 kW.



Afb. 2 Een één-chip-microcomputer van nu meet nog slechts 25 mm², werkt 100 maal sneller en 10.000 maal betrouwbaarder dan ENIAC en verbruikt maar 1 Watt.

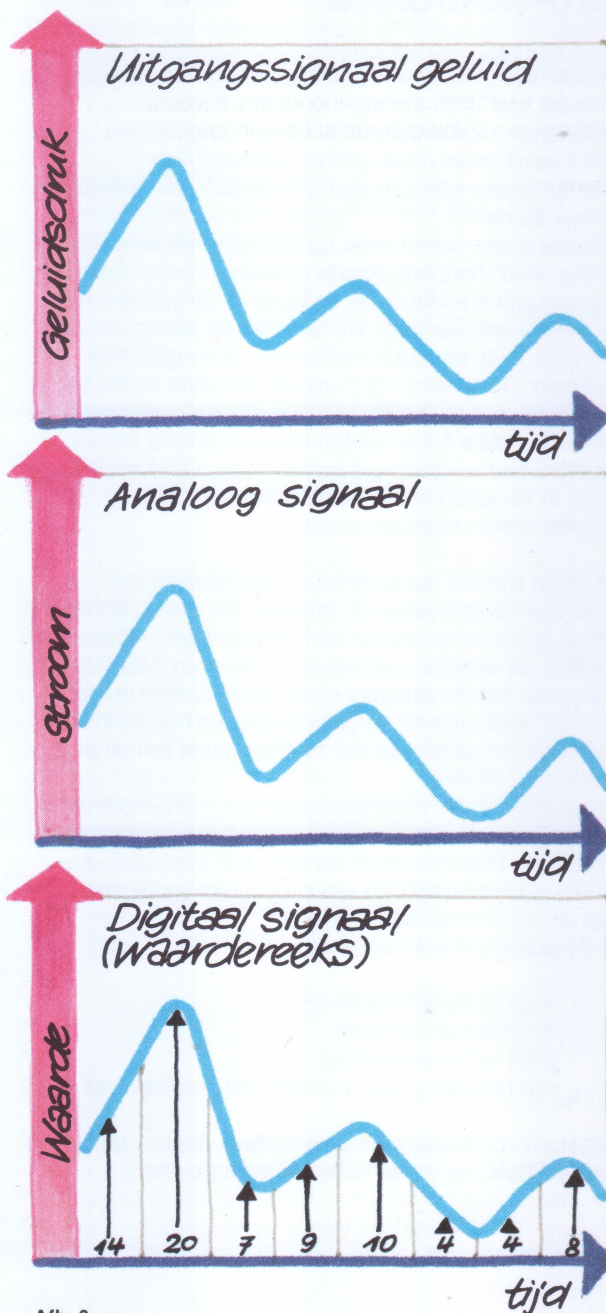
Analoog, digitaal, programmeerbaar

Het bijzondere prestatievermogen van de micro-elektronica is met de omschrijving „klein, produktief en voordelig" nog niet ten volle getypeerd.
Essentieel voor de vaak als „derde industriële revolutie" aangeduide overgang is een verandering in de werkwijze van de elektronica zelf: van de analoge naar de digitale verwerking. In het verleden verliepen bijna alle verwerkingen analoog. Een goed voorbeeld van de overgang van analoog naar digitaal zien we bij de telefoon. De door de spreker geproduceerde geluidsgolven worden door de microfoon in analoge, elektrische signalen omgezet en in deze vorm via kabels getransporteerd.

In het telefoontoestel van de gesprekspartner worden die elektrische stromen weer omgezet in geluidsgolven.
In de digitale telefoonsystemen die tegenwoordig steeds meer worden toegepast, is die analoge overdracht vervangen door een digitaal systeem. Er wordt niet langer een stroom overgedragen die correspondeert met het steeds wisselende geluidsniveau, maar een reeks impulsen. Deze reeks geeft op het betreffende moment de numerieke waarden van de geluidsdruk en de frequentie aan.

Voor overdracht, verwerking en opslag van de (digitale) getallen gebruikt men normaliter de in de elektronica bijzonder voordelige tweewaarden-weergave:
stroom - geen stroom. Deze binaire (d.w.z. met de twee waarden 0 en 1 werkende) techniek leidt bij de informatieverwerking tot een gering aantal noodzakelijke basisschakeltypen: EN-, OF-poorten en inversie schakelingen (een toelichting op deze basisschakeling vindt u in het volgende hoofdstuk „Rekenen met 0 en 1").
Uit deze eenvoudig opgebouwde basisschakelingen kunnen door serie en combinatie schakelingen complexere functies worden opgebouwd: vergelijkers, tellers, optelsystemen, etc. Zulke schakelingen bestaan in feite uit een veelvoud van transistoren, aansluitpunten en bedrading. Vanwege de geringe omvang en de geometrische regelmatigheid van de schakelstructuren zijn deze als het ware voorbestemd voor de integratie in een micro-elektronica component, de chip.

Het in digitale schakelingen noodzakelijke grote aantal transistorfuncties is door de voortschrijdende integratietechnieken nu praktisch niet meer van belang. In de verbindingswegen van de schakeling zijn transistoren opgenomen die als schakelaars werken. Deze verbindingsschakelaars kunnen met behulp van externe signalen worden bediend, waardoor de signaalwegen worden veranderd.
De functie van de schakeling wordt *programmeerbaar*.
Een en dezelfde schakeling kan nu door een reeks van bevelen (het programma) worden aangepast aan de gewenste functie. Met andere woorden: de werkwijze van de schakeling (hardware) wordt door het programma (software) bepaald.
Dat wil zeggen dat binnen ruime grenzen identieke hardware kan worden gebruikt. De wel meest bekende programmeerbare geïntegreerde schakeling is de microprocessor. Samen met de overige functie-eenheden, zoals geheugen, invoer- en uitvoerschakeling en een klokpulsgenerator ontstaat daaruit de microcomputer.



Afb. 3

Rekenen met 0 en 1

Om te beginnen is het noodzakelijk dat de in het vorige hoofdstuk genoemde begrippen „digitaal" en „binair" nader worden toegelicht.

Digitaal - afkomstig van het Latijnse digitus = vinger - betekent zoveel als „in trappen weergeven", waarbij tussenwaarden niet mogelijk zijn.
Afbeelding 4 toont een analoog signaal en de digitale waarde hiervan. Het aantal traphoogten kan worden gekozen. Dit hangt van de aftastfrequentie af en hierdoor wordt bepaald, hoe nauwkeurig het analoge signaal digitaal wordt afgebeeld.

Voor de weergave van de traphoogten zijn er verschillende mogelijkheden. Een voor de hand liggende mogelijkheid zou de opgave van de traphoogte door een corresponderend decimaal getal zijn. Bijvoorbeeld de aanduiding van 16 trappen met de getallen 0 tot 15.
Er zijn nog talrijke andere mogelijkheden denkbaar, al zijn die in technisch opzicht vaak niet zo zinvol. Bijvoorbeeld het 12e systeem van de oude Egyptenaren, waarmee wij tot op de dag van vandaag vertrouwd mee zijn dank zij de dagindeling in uren, of het decimale systeem, waaruit de tien cijfers (0 tot 9) in een getal als som van de opeenvolgende tiendemachten wordt samengesteld.

Voorbeeld voor de getalwaarde 671:

6.10^2 (600)
$+ 7.10^1$ (70)
$+ 1.10^0$ (1)
$= 671$

Het getallensysteem met de laagste basis noemt men het binaire systeem. Het heeft als basis 2 en bestaat slechts uit de beide cijfers 0 en 1.

Voorbeeld voor de getalwaarde 671 in binaire schrijfwijze:

1.2^9 (512)
0.2^8 (0)
1.2^7 (128)
0.2^6 (0)
0.2^5 (0)
1.2^4 (16)
1.2^3 (8)
1.2^3 (4)
1.2^1 (2)
1.2^0 (1)
1010011111 (671)

Met zulke binaire getallen kan voortreffelijk worden gerekend, zowel mathematisch als machinaal.

Een omrekeningstabel binair/decimaal is te zien in afbeelding 5.

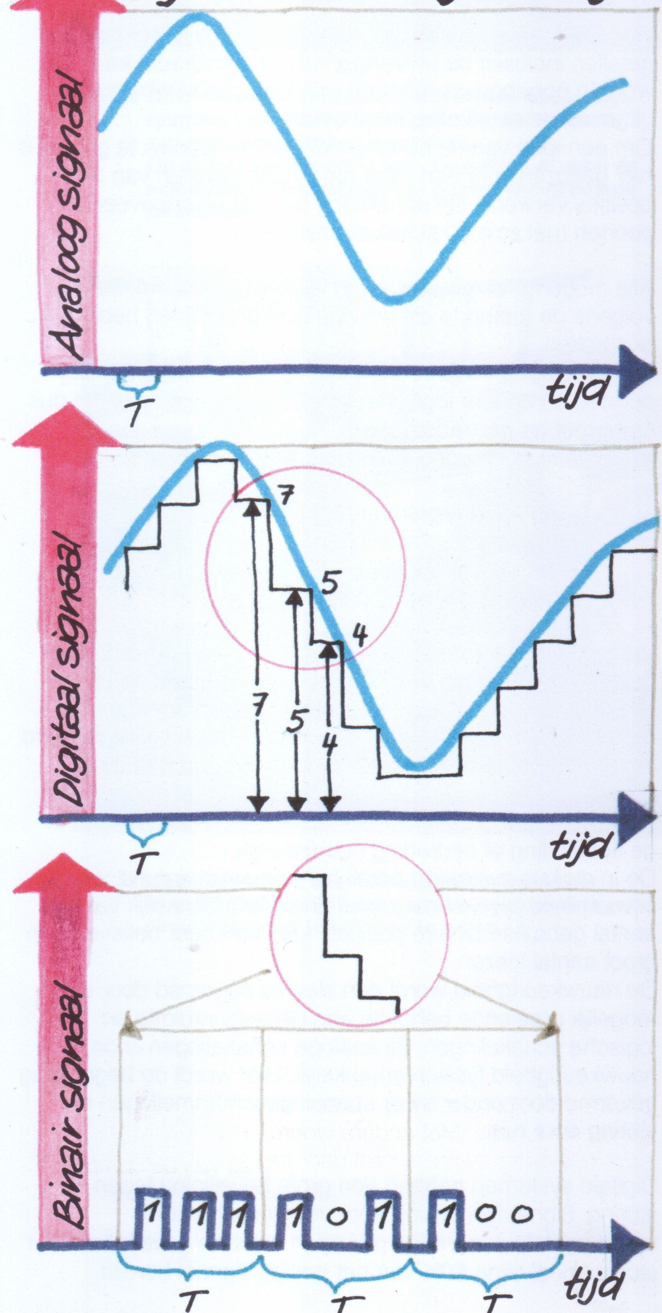
De beide cijfers van het binaire getallensysteem kunnen elektrisch zeer eenvoudig worden gereproduceerd: stroom of aanwezige spanning voor 1, geen stroom resp. geen spanning voor 0 (als onderscheiding met het decimale systeem vaak ook als H en L geschreven).

Het zo klein mogelijke verschil van twee binaire getallen is 1, dit is tevens de elementaire informatie-eenheid, die met „bit" (**bi**nary digi**t**) wordt aangeduid.

Voor het rekenen met binaire getallen worden schakelingen gebruikt, die de fundamentele rekenregels elektrisch reproduceren. Voor een eenvoudige optelling geldt:

$0 + 0 = 0$
$0 + 1 = 1$
$1 + 0 = 1$
$1 + 1 = 0$, overdracht 1

Zulke rekenschakelingen kunnen uit poorten worden opgebouwd. Poorten zijn b.v. de EN-, OF-, NAND- en NOR-verbindingen. Zij ontlenen hun aanduiding aan de logische, niet aan de mathematische functie.



Afb. 4

EN- en OF-poorten kunnen uit elektrische schakelaars worden opgebouwd (afb. 7). De aanduiding verklaart ook de functiewijze: bij de EN-schakeling brandt de lamp wanneer schakelaar S1 *en* schakelaar S2 gesloten zijn: bij de OF-schakeling brandt de lamp als schakelaar S1 *of* S2 is gesloten. De functie op dat moment wordt als een logische verbinding aangeduid, waarvoor zogenaamde waarheidstabellen bestaan. Deze geven aan welke uitgangssituaties (0 of 1) zich bij de verschillende ingangssituaties voordoen. De waarheidstabel voor de getoonde EN- en OF-poort is eveneens afgebeeld (afb. 6).

Een essentiële logische functie is de inversie. Deze bewerkstelligt niets anders dan dat het uitgangssignaal tegenovergesteld is en dit dus inverteert (0 wordt 1, 1 wordt 0). Een NOR-poort voor de NOR-verbinding bestaat bijvoorbeeld uit een OF-poort (Engels OR) met een daaropvolgende inversietrap. „Not OR" wordt samengetrokken tot de aanduiding NOR.

Hoe de opgave van een eenvoudige optelling van binaire getallen inclusief de ontvangst van de overdracht kan worden opgebouwd, toont de met logische symbolen uitgevoerde schakeling in afbeelding 8.
Om een idee van de schakeltechnische opbouw te geven, is hier gekozen voor een cijfer dat binaire getallen van 3 posities verwerkt. De schakeling bestaat uit ongeveer 20 poorten met zo'n 60 schakeltransistoren.

Alle moderne computers - van klein tot groot - rekenen volgens de methode die we zojuist in grote lijnen hebben besproken.
Deze methode vergt veel digitale techniek in de vorm van poorten en andere logische schakelingen. Dat betekent dus een groot aantal transistoren.
Daar staan echter drie essentiële voordelen tegenover:

- de vrije programmeerbaarheid van processorschakelingen;
- de nauwkeurigheid;
- de geringe kans op storingen.

Vrij programmeerbaar betekent, dat de computer wordt gestuurd met behulp van een reeks bevelen die op elk gewenst tijdstip gewijzigd kan worden. De informatie met betrekking tot deze bevelen is in het geheugen geregistreerd. De programmeerbaarheid houdt dus verband met de software. Niet met de hardware. Voor de verschillende programmawijzigingen zijn dan ook geen veranderingen in de schakeling of bedrading noodzakelijk.
De in digitale systemen bereikbare nauwkeurigheid, bijvoorbeeld in rekennauwkeurigheid, is afhankelijk van het aantal gebruikte binaire posities. Men kan naar believen een groot aantal kiezen.
De nauwkeurigheid wordt dan slechts begrensd door een mogelijk groeiende behoefte aan geheugenruimte en logische schakelingen. Bij analoge schakelingen is de nauwkeurigheid fysisch afhankelijk. Hier wordt de begrenzing gevormd door onder meer spanningsschommelingen en storing door ruis.

Digitale systemen hebben een grote beveiliging tegen storing. Signaalvervalsing door verstrooiingen of overdrachtsfouten treden pas op in extreme gevallen als het stoorsignaal bijna 50% van het nuttige signaal bereikt.

Omrekeningstabel

Binair					Decimaal		
2^4	2^3	2^2	2^1	2^0	10^2	10^1	10^0
16	8	4	2	1	100	10	1
				0			0
				1			1
			1	0			2
			1	1			3
		1	0	0			4
		1	0	1			5
		1	1	0			6
		1	1	1			7
	1	0	0	0			8
	1	0	0	1			9
	1	0	1	0		1	0
	1	0	1	1		1	1
	1	1	0	0		1	2

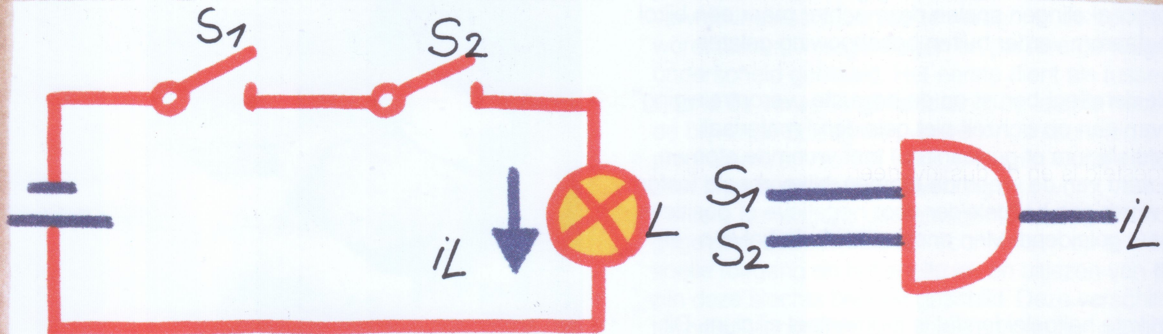
Afb. 5

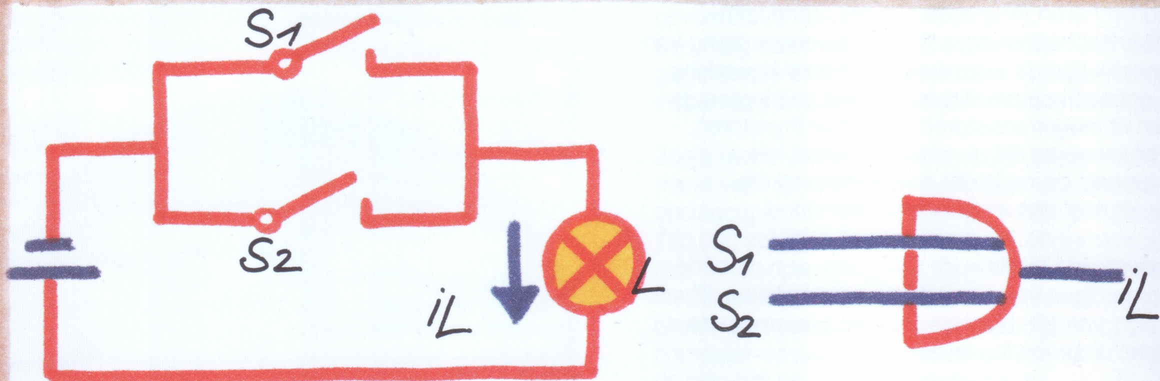
Waarheidstabel van de logische En -en OF-schakelingen

Ingang		Poortuitgang		
S_1	S_2	OF	EN	NOR
0	0	0	0	1
0	1	1	0	0
1	0	1	0	0
1	1	1	1	0

Afb. 6

Voorbeeld van een "EN-schakeling" en een "OF-schakeling" (weergeven met schakelaars)

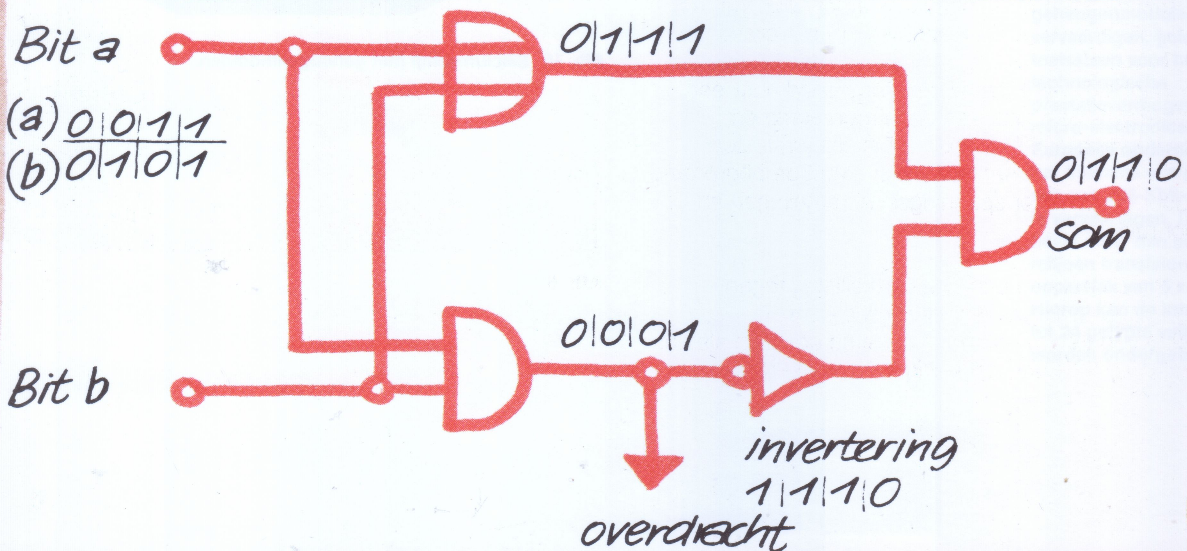




Afb. 7

Voorbeeld van een optelschakeling weergeven in logische symbolen

Extra weergegeven zijn logische situaties op de verschillende verbindingen



Afb. 8

Halfgeleidertechniek

Spreekt men van geïntegreerde schakelingen, dan worden er bijna altijd halfgeleiderschakelingen bedoeld. Om precies te zijn behoren ook dikke film- en dunne film-schakelingen tot de geïntegreerde schakelingen. In vergelijking met de halfgeleiderschakelingen spelen deze echter maar een bijrol en worden daarom verder buiten beschouwing gelaten.

Het halfgeleidereffect berust op de bewuste „verontreiniging" (dotering) van een op zichzelf niet geleidend materiaal (bijvoorbeeld silicium of germanium) met vreemde atomen. Al naar de aard van de vreemde atomen, bijvoorbeeld fosfor of borium, wordt een halfgeleider door negatieve of positieve ladingdragers geleidend. Men onderscheidt derhalve n- en p-geleiders.

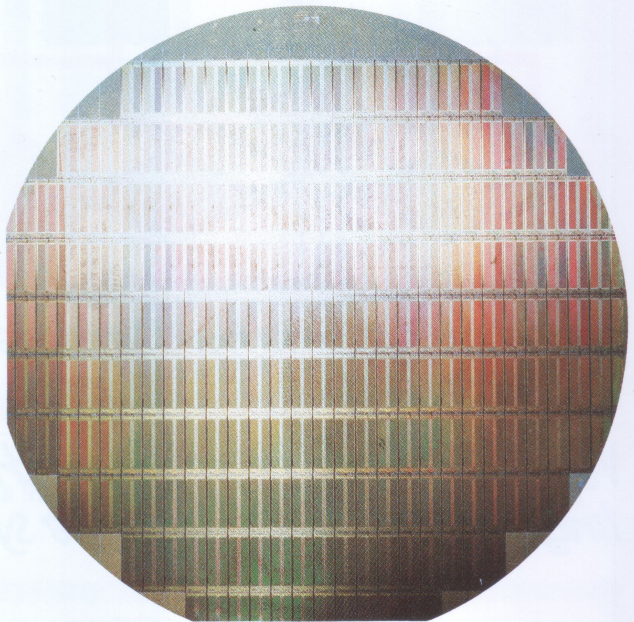
De belangrijkste halfgeleiderstof is momenteel silicium. Dit wordt uit kwartszand gewonnen, dat in ruime mate op aarde voorkomt. Silicium heeft gunstige verwerkingseigenschappen en is qua elektrisch gedrag zeer stabiel. Door een reeks van chemische en fysische processen worden uit het ruwe silicium zeer zuivere staven gewonnen, die uit één enkele grote kristal bestaan (monokristal). Deze staven worden in dunne siliciumschijven ter grootte van een handpalm gezaagd. Dit is het basismateriaal voor de vervaardiging van chips. Afhankelijk van de wijze waarop verdere bewerking plaatsvindt, ontstaan op de siliciumschijven geïntegreerde schakelingen of monotransistoren, dioden of thyristoren, solarcellen of sensoren. Bij de sensoren wordt het elektrische gedrag, bijvoorbeeld door lichtinwerking, temperatuur, druk of een magneetveld beïnvloed.

Siemens ontwikkelde reeds in de 50er jaren een procédé voor het vervaardigen van uitzonderlijk zuiver silicum. Thans wordt rond 80% van alle bijzonder zuivere silicium op de wereld volgens dit procédé vervaardigd.

Sinds kort worden voor geïntegreerde schakelingen met bijzonder hoge verwerkingssnelheid en voor opto-elektronische netwerkelementen ook andere half-geleidermaterialen gebruikt, bijvoorbeeld gallium-arsenide.



Afb. 9 Onze nieuwe fabriek in Villach (Oostenrijk) vervaardigt hoogwaardige dynamische geheugenmodulen (16k en 64k) en microprocessoren met miljoenen tegelijk. Een belangrijke voorwaarde voor een betrouwbare fabricage is een buitengewoon stofvrije situatie in het silicium-schijvencentrum.



Afb. 10 Siliciumschijf met geheugenmodulen.

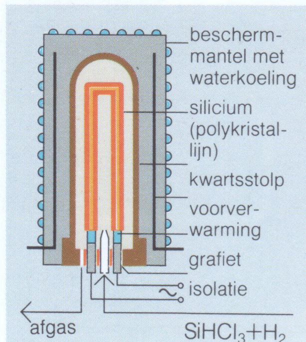
De vervaardiging van „Halfgeleidersilicium" volgens het Siemens procédé

Het afscheidingsproces levert het polykristallijne uitgangsmateriaal met een grote zuiverheid op, dat voor de verdere fasen van het systeem nodig is.

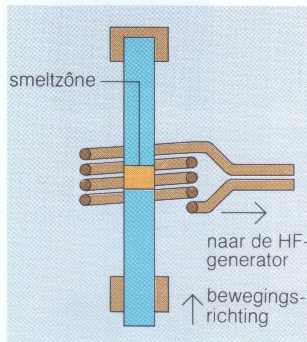
Het polykristallijne materiaal wordt door het smeltkroesvrije zône-treksysteem verder gezuiverd en in monokristallijne toestand overgebracht.

Door duntrekken worden hoogwaardige dunne staven verkregen, die voor het afscheidingsproces en als entstaven bij het zônetrekken nodig zijn.

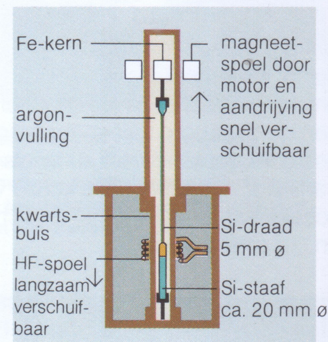
Afb. 1
a) Principe van de siliciumafscheiding door thermische ontleding van silicium-chloroform en reductie met waterstof
b) Gloeiende silicium-staven met C-reactor
c) Grote C-reactoren voor het afscheidingsproces



1a

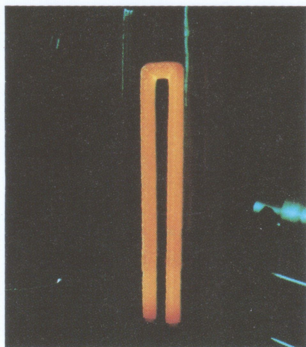


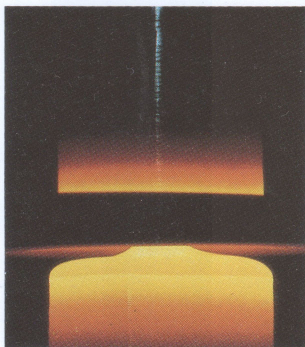
2a



3a

Afb. 2
a) Principe van het smeltkroesvrije zônetrekken: het grootste deel van de verontreiniging wordt met de smeltzône naar het bovenste uiteinde van de siliciumstaaf verplaatst
b) Gloeivloeibare smeltzône
c) Zônetrekmachine voor monokristallijne siliciumstaven van 10 cm doorsnede en 1 m lengte

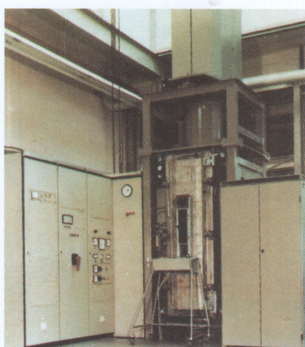

1b


2b


3b

Afb. 3
a) Principe van het duntrekken: snel trekken van een „dunne staaf" uit een voorraadstaaf
b) smeltzône van een dunne staaf
c) duntrekmachine


1c


2c


3c

Transistoren

Transistoren zijn de belangrijkste schakelelementen van de micro-elektronica. De transistor werd in 1948 in de Bell-laboratoria in de USA ontwikkeld en heeft sindsdien de elektronenbuizen zo goed als vervangen.

Oorzaak van het transistoreffect is het bijzondere karakter van halfgeleiders: aan het raakvlak van een n-geleidende met een p-geleidende zône ontstaat een open sperlaag. De stroom kan slechts verder in één richting (gelijkrichtereffect). Elke transistor bestaat uit twee van zulke pn-overgangen, die zo zijn aangebracht dat normaliter geen stroom door de transistor kan vloeien. Een stuurstroom of een stuurspanning kan echter het spereffect opheffen en een stroomloop mogelijk maken.

Net als de buizen bestaan de transistoren in feite uit drie delen: stroombron, stuurelektrode en stroomsignaal-ontvanger. Met een klein signaal aan de stuurelektrode kan een grote stroom tussen bron en signaalontvanger worden gestuurd. Naast deze functie als signaalversterker kan de transistor door een juiste keuze van het stuursignaal ook als schakelaar fungeren, met de schakelsituaties „1" (geleidend) en „0" (niet geleidend).

Een geïntegreerde logische schakeling bevat gewoonlijk duizenden schakeltransistoren. Bij hoog geïntegreerde schakelingen zijn vooral de MOS-veldeffect-transistoren (MOS = Metaal-Oxyde-Silicium) van groot belang. De ruimte die zij innemen en hun opgenomen vermogen zijn geringer in vergelijking tot bipolaire stroomgestuurde transistoren. Bovendien is het fabricageproces eenvoudiger.

Werkwijze van de npn-transistor
(geldt analoog ook voor pnp-transistor):

De transistor bezit twee pn-overgangen. De ene tussen emitter en basis en de andere tussen basis en collector. Tussen basis en collector wordt een spanning in sperrichting aangelegd (U_{CB}).
In het collectorcircuit loopt daardoor slechts een kleine stroom I_c (collector-sperstroom). Wordt aan de emitter-basis-pn-overgang een spanning in doorgaande richting aangelegd (U_{EB}), dan worden elektronen door de emitter in de basiszône geëmitteerd (= emitterstroom). Tot op een klein gedeelte na, doorlopen deze elektronen de basis. Ze komen in het elektrisch veld van de basis-collector-pn-overgang en versterken de collectorstroom.

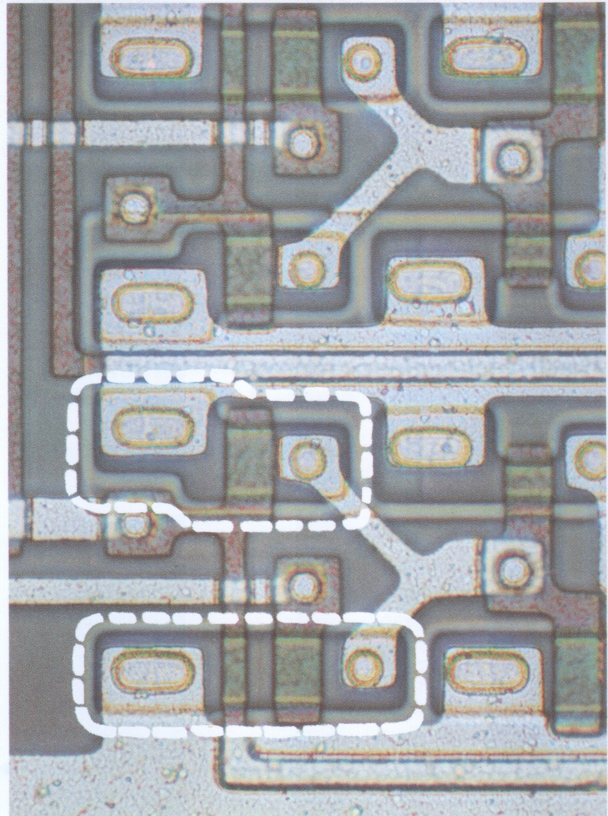
Kleine veranderingen van de emitterstroom (door verandering van de spanning U_{EB}) leiden tot grote veranderingen van de collectorstroom (versterkereffect).

Voorwaarden waaronder de elektronen de basis doorlopen en de collector bereiken, zijn:

- een zeer korte afstand tussen emitter en collector (kleine basisbreedte);
- volledig ongestoorde kristalopbouw (monokristal).

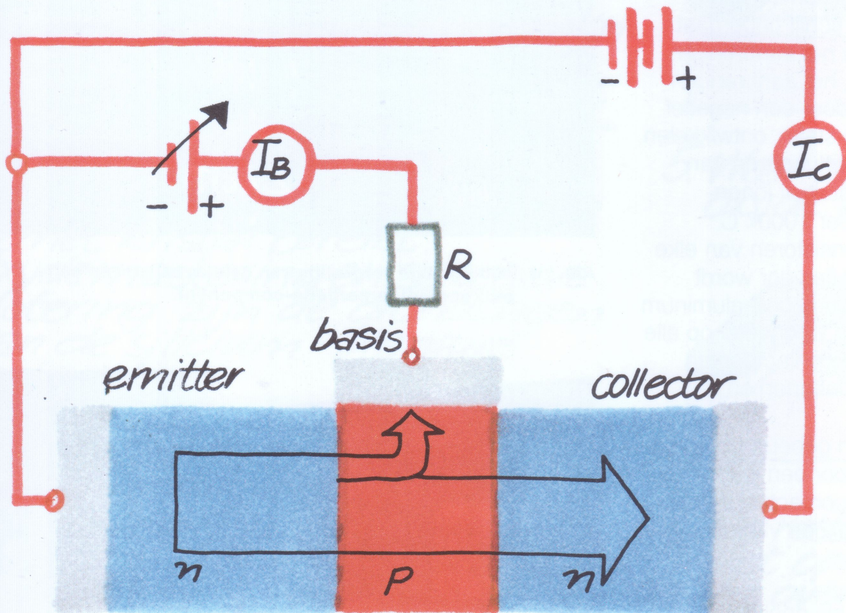
Principe-opbouw en schakeling van een MOS-veldeffecttransistor

Door een positieve spanning aan de geïsoleerde gate worden elektronen uit het Si-substraat naar de Si-bovenkant getrokken.
Tussen de beide n-gebieden source en drain ontstaat een smalle n = geleidende laag (= kanaal). Door de gate-spanning kan de stroom I_c stroomloos worden gestuurd.



Afb. 11 Transistoren op een chip. Het bovenste fotofragment toont een monotransistor; het onderste een dubbele transistor.

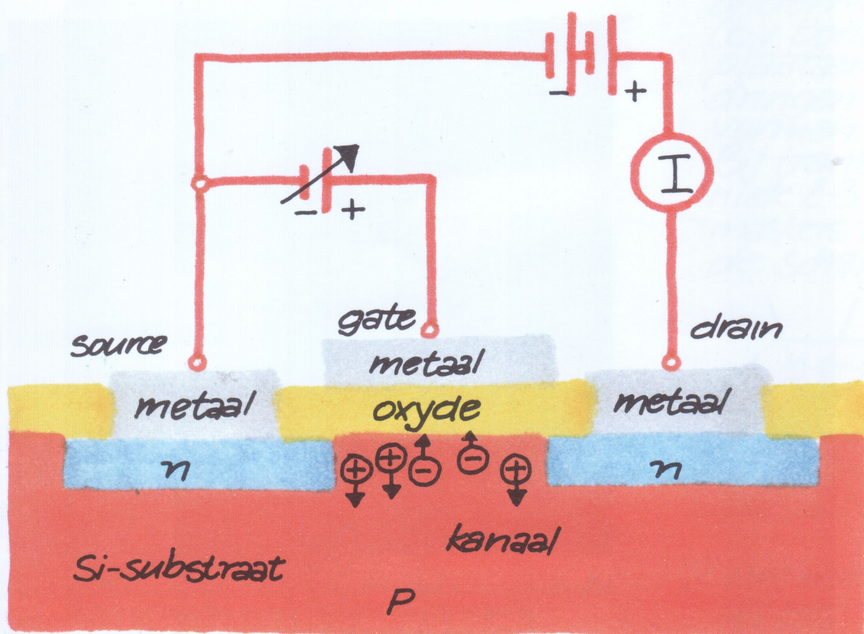
Principe-opbouw en schakeling van een bipolaire transistor



De lage stuurstroom I_B stuurt de veel hogere collectorstroom I_C. Elektronen, die door de aangelegde basisspanning vanaf de ermitter in de dun gevormde basislaag komen, worden praktisch volledig door een hogere collector-spanning van de basislaag in het collectorgebied getrokken

Afb. 12

Principe-opbouw en schakeling van een MOS-veldeffect-transistor



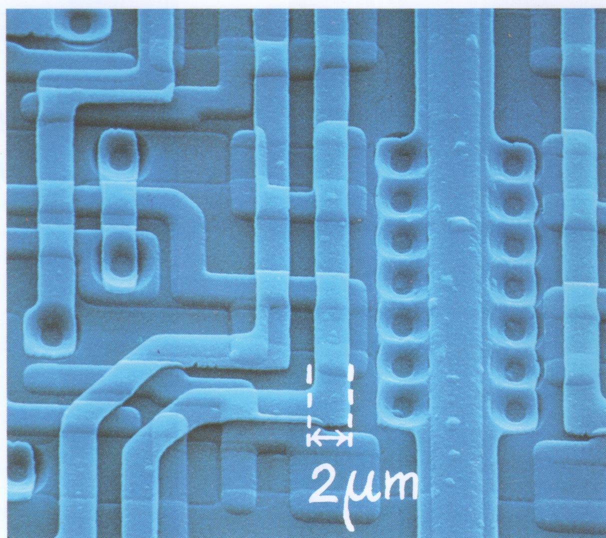
Door een positieve spanning aan de geisoleerde gate worden elektronen uit de Si-bovenkant getrokken: Tussen beide n-gebieden (source en drain) ontstaat een smalle n-geleidende laag (n-kanaal). Door de gate-spanning kan zonder vermogen de drain-stroom worden gestuurd.

Afb. 13

Planaire techniek - de techniek voor het maken van geïntegreerde schakelingen

De technologische grondslag voor het maken van geïntegreerde schakelingen is de planaire techniek. Er wordt steeds gebruik gemaakt van een ronde siliciumschijf met een diameter van ongeveer 10 cm. Deze schijf ondergaat een herhaald fotolithografisch procédé na het aanbrengen van een oxydelaag. Thermische oxydatie, het aanbrengen van een lichtgevoelige laklaag, belichten door een negatief (masker) waarop de schakelingstructuren staan, ontwikkelen, etsen van vensters in de oxydelaag en indiffunderen van borium- of fosfor-atomen in de siliciumkristal- of ionen-inplanting bij een temperatuur van ongeveer 1000° C. Vervolgens moeten de vele duizenden transistoren van elke schakeling onderling worden verbonden. Hiervoor wordt eerst op het gehele oppervlak van de siliciumschijf aluminum opgedampt. Dat wordt in een later stadium weggeëtst op alle plaatsen waar geen verbindingswegen en contactpunten mogen ontstaan. Alleen de metalen geleidebanen en de contactpunten blijven over.
Het van elkaar scheiden van de systemen gebeurt door middel van een inkrassende diamant of door een laserstraal. Na het scheiden worden de systemen gecontacteerd door middel van haarfijne goude draden en voorzien van een kunststof of keramische behuizing.

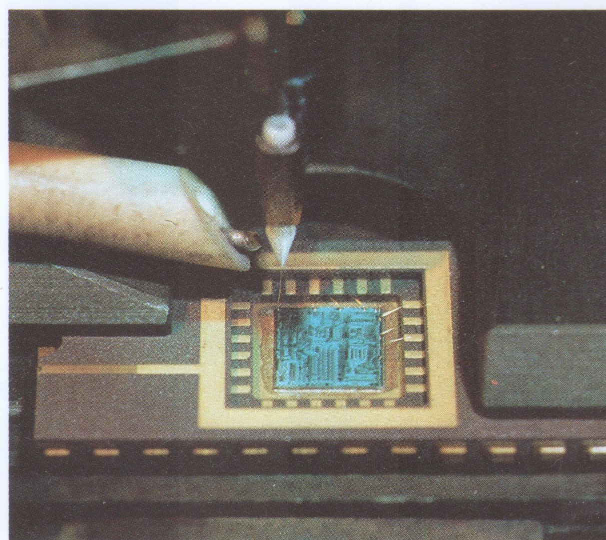
Verbetering van het fabricageproces met als doel een verdere structuurverkleining tot 1 μm en kleiner, zijn vooral bij de belichtingstechniek (elektronenstraal-lithografie, röntgenlithografie), bij het etsproces (plasma-etsen) en in de verbindingstechniek (meerlagenbedrading) te verwachten.



Afb. 14 950-voudige vergroting van geleidebanen van een microcomputerperiferie-component.



Afb. 15 In de kwartsbuisoven vindt het doteren van de siliciumkristallen met borium- en fosforatomen plaats.



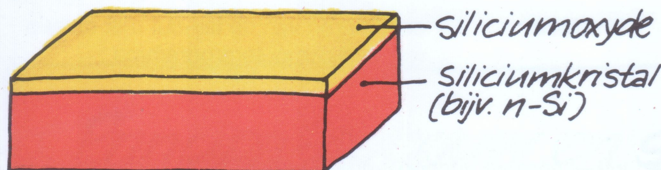
Afb. 16 In volautomatische verbindingsinstallaties wordt elk afzonderlijk contactpunt van de schakeling met de poten van de draagspin elektrisch verbonden. Daarvoor wordt een gouden draad van 25 μm doorsnede gebruikt.

Planaire techniek

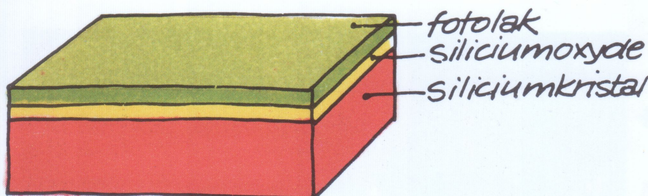
(deelproces, selectieve dotering)

De fabricage van discrete halfgeleiders en geintegreerde schakelingen maakt het nood zakelijk, slechts bepaalde kleine gebieden van het halfgeleiderkristal naar n-of-p-geleidende zônes te doteren. Dit wordt door een oxydelaag op het kristal bereikt. Oxydemaskering en selectieve dotering zijn de grondslagen van de silicium-planaire techniek.

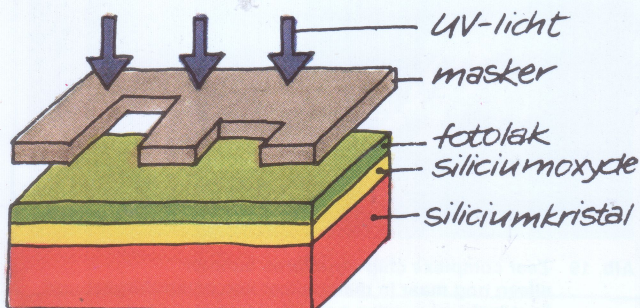
1. Oxyderen van de siliciumschijf. Bij 1200°C vormt zich in een vochtige atmosfeer een dunne oxydelaag.



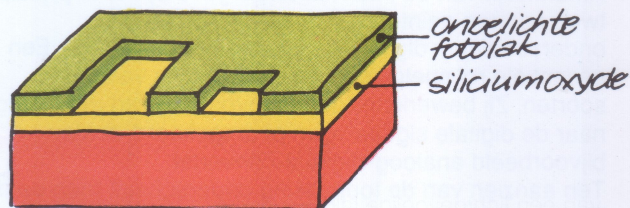
2. Aanbrengen van lichtgevoelige lak op de oxydelaag



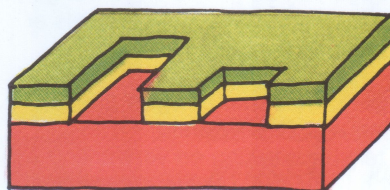
3. Belichten van de lak door een masker, die de structuur van de transistor of van de geintegreerde schakeling bepaalt.



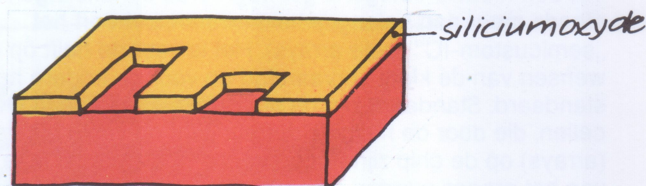
4. Fotolak ontwikkelen en belichte gedeelte chemisch verwijderen. De onbelichte fotolak blijft als bescherming tegen de aansluitende etsing op de oxydelaag.



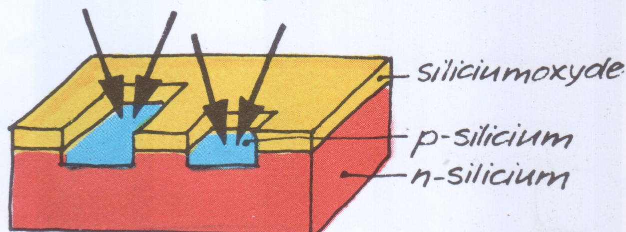
5. Waar geen fotolak zit, wordt het oxyde weggeëtst.



6. De resterende fotolak wordt met oplosmiddelen verwijderd. Het overblijvende oxyde werkt als masker voor de daaropvolgende diffusie.



7. De door oxyde gemaskeerde siliciumschijf wordt aan diffusie onderworpen. Doteeratomen (b.v. borium) diffunderen op de plaatsen, waar geen oxyde zit, dringen het kristal binnen en vormen p-geleidende zônes. Bij transistoren wordt de fototechniek 2-3 maal met verschillende maskers herhaald, bij geintegreerde schakelingen maximaal 10 m



8. Het verdere procesverloop bestaat uit het samenstellen van contacten en gemetalliseerde geleidebanen.

Afb. 17

Micro-elektronica - diverse soorten schakelingen

Afhankelijk van de informatieweergave zijn er in principe twee soorten geïntegreerde schakelingen te onderscheiden: digitale en analoge schakelingen. Een essentiële rol spelen ook de combinaties van beide soorten. Zij bewerkstelligen de overgang van de analoge naar de digitale signaalvorm of omgekeerd, zoals bijvoorbeeld analoog-digitaal-converter.
Ten aanzien van de toepassing onderscheidt men op de klant gerichte, op de toepassing gerichte en gestandaardiseerde schakelingen.

Op de klant gerichte schakelingen worden, zoals het woord al zegt, voor een bepaalde afnemer en toepassing ontwikkeld. De fabricage van dergelijke schakelingen is in het algemeen alleen economisch verantwoord als er sprake is van grote aantallen.

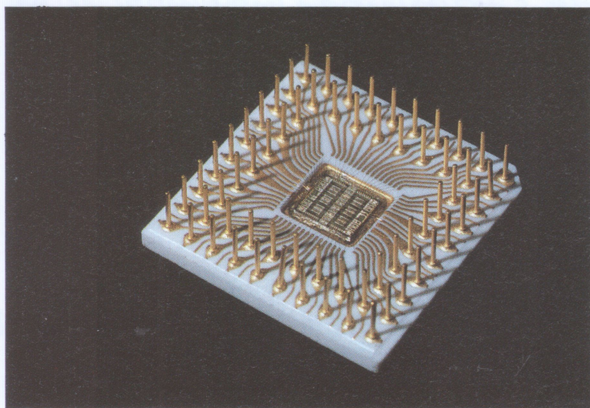
Op de toepassing gerichte schakelingen zijn er al in een grote verscheidenheid. Bijvoorbeeld procesbesturingen, tekstverwerking en verwerking van spraak. Dergelijke schakelingen worden doorgaans ontwikkeld in samenwerking met de verschillende groepen afnemers.

Tot de belangrijkste **standaard-modulen** voor universele toepassingen behoren geheugens, microprocessoren, microcomputers, analoog, digitaal-converters alsmede computerschakelingen.

Tot een nieuwe categorie geïntegreerde schakelingen die steeds meer aan belangrijkheid winnen, behoort het „semicustom-IC" (gate arrays). Het is voor de helft op de wensen van de klant vervaardigd en voor de andere helft standaard. Standaard zijn de poorten (gates) of logische cellen, die door de halfgeleiderfabrikant op vaste plaatsen (arrays) op de chip zijn aangebracht. In de laatste fase van het proces worden de verbindingen overeenkomstig de specificaties van de klant aangebracht.

Semicustom-IC's kunnen echter ook aan de hand van een vaste cellencatalogus door dienovereenkomstig gekwalificeerde gebruikers zelf worden ontwikkeld. De halfgeleiderfabrikant maakt aansluitend de maskers en vervaardigt de IC's.

Dit ontwerpen van semicustom-IC's gebeurt automatisch met behulp van CAD-progamma's voor logische analyse, cellenplaatsing en bedrading. (CAD = Computer-Aided-Design, d.w.z. construeren met behulp van de computer).



Afb. 18 Gate-array met 64 aansluitingen

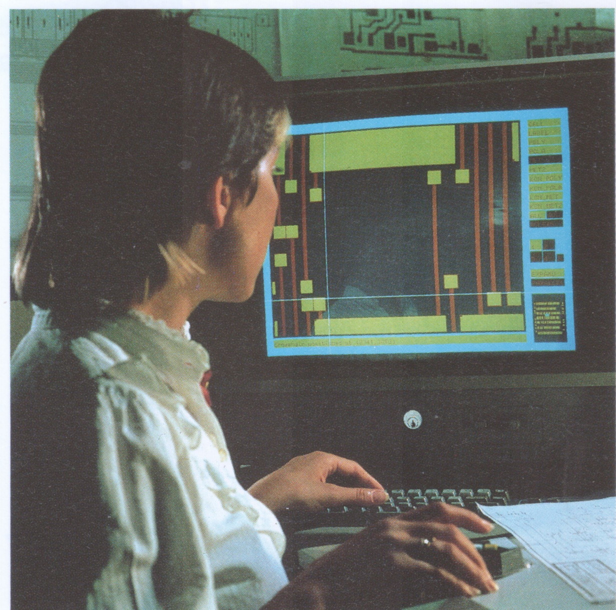
Ontwikkeling van de schakeling

Aan het technologische fabricagesysteem gaat de ontwikkeling van de schakeling en de vervaardiging van de maskers vooraf.
Daar een schakeling met 100.000 transistoren ongeveer 10 miljoen componenten bevat, is ook de ontwikkeling van zo'n schakeling nog slechts met computers mogelijk.

De belangrijkste fasen in het verloop van de ontwikkeling van een schakeling zijn:

Specificaties	-	definiëren van de benodigde systeemfuncties;
Logisch diagram	-	definiëren van de logische schakeling door poortsymbolen of logische vergelijkingen;
Logisch plan	-	omzetten van het logische diagram in een logisch plan, dat aan de speciale eisen van de gebruikelijke technologie voldoet en zoveel mogelijk standaard logische cellen bevat;
Lay-out	-	samenstellen van een totaal overzichtsplan op een speciaal computerbeeldscherm, om een lay-out te verkrijgen, die zo weinig mogelijk plaats inneemt;
Simulatie	-	controleren van de lay-out met behulp van een computerprogramma.

In het verdere verloop worden van de in de computer opgeslagen gegevens maskers (fotonegatieven) vervaardigd. Hiermee worden in het fabricageproces de schakelingen op de siliciumschijven overgebracht.



Afb. 19 Zeer complexe chip-structuren kunnen alleen nog maar in dialoog met een computergestuurd beeldscherm worden ontwikkeld.

Kwaliteitszorg voor elektronische componenten

Een belangrijk voordeel van micro-elektronische componenten ligt in hun grote betrouwbaarheid. Het uitvalsrisico bedraagt slechts 1 op 10 miljoen componenten bedrijfsuren. Dit komt overeen met één enkele uitval in meer dan 1.000 jaar per component, of met één uitval in 10 jaar voor een complex systeem van 100 geïntegreerde componenten.

De hoge kwaliteitsstandaard van de huidige micro-elektronische componenten wordt gewaarborgd door een kwaliteitscontrole tijdens het gehele fabricageproces. Hierbij worden onder meer de elektrische en functionele eigenschappen van elk component gemeten. Bovendien worden de prototypen onderworpen aan strenge tests.

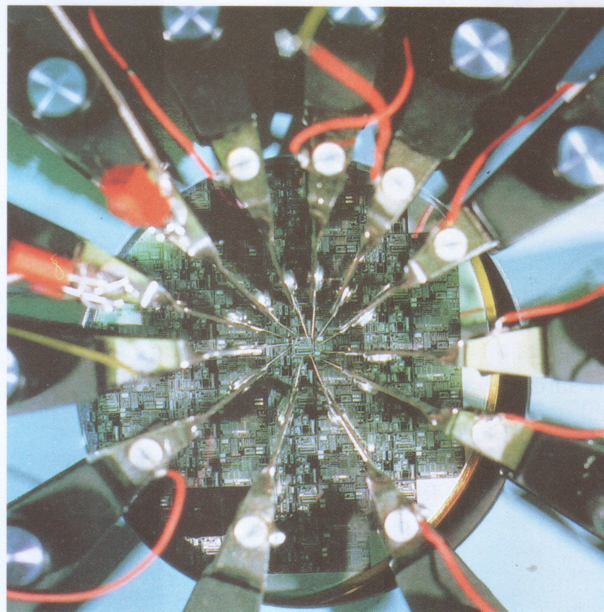
Een voorbeeld uit de fabricage bij Siemens. Hier worden de prototypen:

- in centrifuges gecentrifugeerd (30.000 g);
- in schudmachines door elkaar geslingerd (20..... 2.000Hz/20 g, g = eenheid van de **aardversnelling;** 1 g = 9,81 m/s^2);
- met 1.500-voudige **aardversnelling** gestoten;
- met vloeibaar soldeertin in aanraking gebracht, (260 ° C., 15 maal);
- met temperatuurwisselingen belast (-65° tot + 150° C.);
- met een warme zoutoplossing besproeid (35° C., 24 uur).

Verdere levensduur tests zijn:

- 24 uur in de stoomdruktest (119° C., 2 ato);
- 2.000 uur functioneren bij 85% relatieve vochtigheid;
- 2.000 uur bij maximale temperatuur werken (125° C).

Pas wanneer de prototypen van een nieuwe schakeling al deze en nog enkele andere proeven doorstaan hebben, wordt de schakeling voor seriefabricage vrijgegeven.



Afb. 20 De functiebetrouwbaarheid van elke schakeling afzonderlijk wordt met een speciaal meetprogramma getest. Dunne meetpennen controleren gelijktijdig alle aansluitpunten. Een tweede meting wordt uitgevoerd als het component in zijn behuizing zit.



Afb. 21 Het tussentijdse optische onderzoek dient voor controle van de voorafgaande procesfasen.

Ontwikkeling van integratiedichtheid en kosten

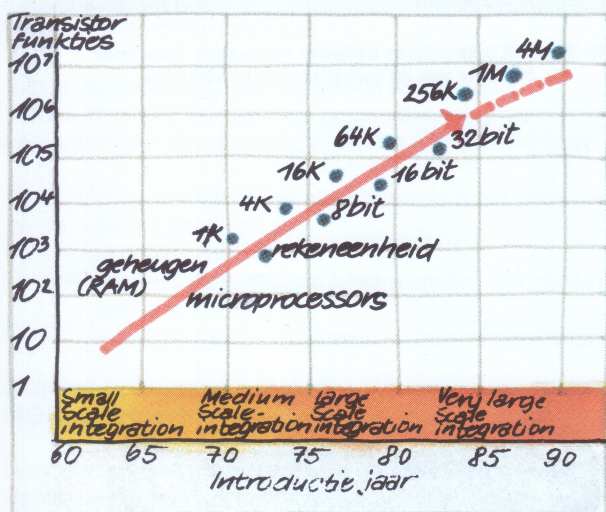
In de onderzoek- en ontwikkelingsafdelingen van de halfgeleiderindustrie heeft men de fabricagesystemen steeds verder verfijnd. Door de voortdurend kleiner wordende structuren van de schakeling en door de dichtere pakking van de transistoren kon de integratiedichtheid in de laatste 20 jaar tot het 10.000-voudige worden opgevoerd.
In 1983 lag de wereldstandaard van de in seriefabricage beheerste integratiedichtheid bij 150.000 transistoren op 25 mm^2 silicium-oppervlak - ook bij Siemens. Het gaat hierbij om halfgeleidergeheugens met een capaciteit van meer dan 65.000 bit. Dit komt overeen met de informatie op 4 tot 6 vellen A4 formaat.

In het midden van de 80er jaren zal die integratiedichtheid oplopen tot ongeveer één miljoen transistoren op 25 mm^2 siliciumoppervlak. Verwacht wordt, dat de jaarlijkse stijging daarna iets zal teruglopen. De technologische maar ook de economische grens in deze technologie zal bij 10 tot 15 miljoen transistoren liggen. Deze grens zal tussen 1990 en het jaar 2000 worden bereikt.

Tegelijk met het stijgen van de integratiegraad zijn de kosten per geïntegreerde trasistorfunctie sinds het begin van de integratietechniek in 1962 met de factor 10.000 verminderd. Daardoor is de prijs-prestatie-verhouding van elektronische apparaten en installaties met geïntegreerde schakelingen in de afgelopen jaren steeds gunstiger geworden. Dit heeft in veel apparaten de overgang van de mechanica of elektromechanica naar de elektronica bespoedigd.

Afb. 22

Stijging van de integratiegraad bij geïntegreerde schakelingen gesplitst in ontwikkelingen van geheugens en microprocessors.



De stijging van de integratiegraad maakte de overgang van schakeling naar systeemintegratie mogelijk

Microprocessor - microcomputer

Microcomputers zijn - zoals de naam al zegt - zeer kleine computers. Gemeten aan afmetingen en kosten is het prestatievermogen van een microcomputer allesbehalve klein.

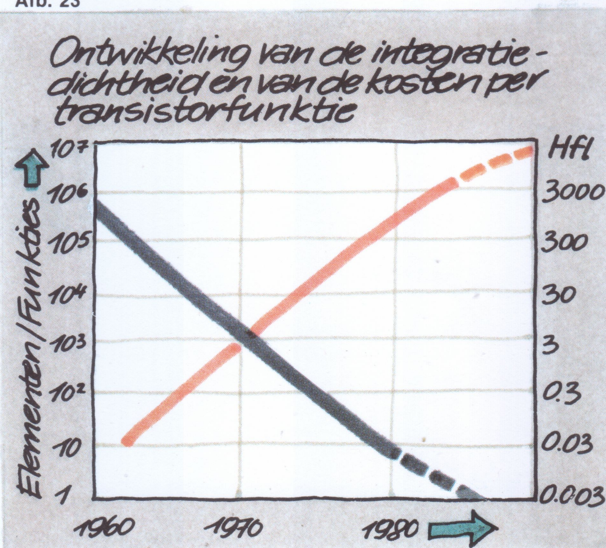
Microcomputers zijn uit een klein aantal geïntegreerde standaardschakelingen opgebouwd. De gebruiker kan ze voor een veelvoud van opgaven programmeren, zonder de schakeling (hardware) te veranderen.

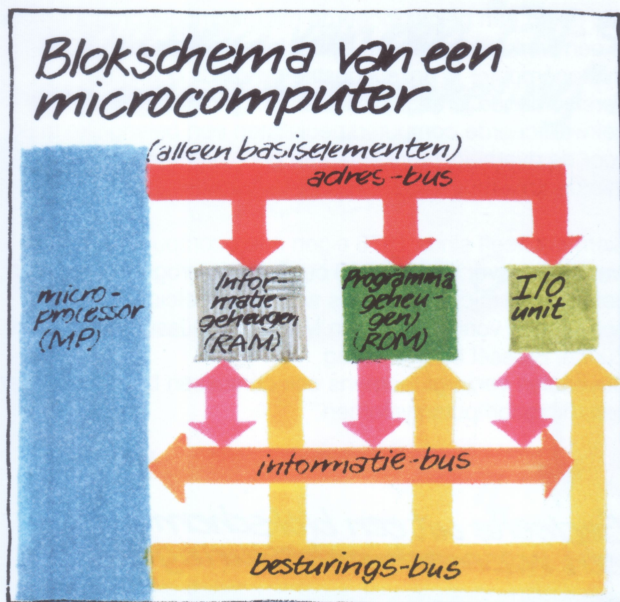
Op het blokschema is de opbouw van een microcomputer uit de belangrijkste basiselementen te zien (afb. 24).

De microprocessor voert de stuur- en rekenfuncties in de computer-schakeling uit. Hij komt overeen met de centrale eenheid (CPU = Central Processing Unit) bij grotere computers.
Het programmageheugen bevat een reeks instructies, die de microprocessor zeggen, welke deelhandelingen deze achtereenvolgens moet uitvoeren. En waar hij de hiervoor benodigde gegevens in het geheugen vindt. Het geheugen houdt deze gegevens voor de bewerking gereed. Een gecombineerde moduul voor de in- en uitvoer van gegevens verbindt de microcomputer met de buitenwereld, bijvoorbeeld met een toetsenbord, een temperatuurvoeler of een beeldscherm.
Het geordende gegevensverkeer binnen de microcomputer wordt op het zogenaamde bus-systeem afgewikkeld: een meervoudig geleidingssysteem dat de afzonderlijke elementen van de microcomputer met elkaar verbindt en de informatie overdraagt.

Microcomputers zijn gewoonlijk opgebouwd uit meerdere bedradingskaarten (printed circuits), welke voorzien zijn van meerdere geïntegreerde schakelingen.
Er zijn echter ook al complete microcomputers, die op een enkele siliciumkristal zijn geïntegreerd (één-chip-microcomputer).
Microcomputers zijn opgebouwd uit standaard-schakelingen. Daarom is het kostenpeil zo laag en zijn ze doorgaans direct leverbaar. Ook in kleinere aantallen. Hierdoor zijn microcomputers ook zeer belangrijk voor het midden- en kleinbedrijf, respectievelijk voor apparaten in kleine produktieseries. Speciaal ontwikkelde microcomputers zouden hier vanwege de kleine aantallen bij relatief hoge ontwikkelingskosten, economisch niet haalbaar zijn.

Afb. 23





Werking van een microcomputer:

1. De microprocessor (MP) haalt uit het programmageheugen een nieuwe instructie.
2. De MP verneemt via de instructie, welke handeling moet worden uitgevoerd (bijv. een optelling), waar de benodigde gegevens zijn opgeslagen (bijv. in het geheugen of in een periferie-apparaat) en wat er met het resultaat moet gebeuren (bijv. doorgeven aan de I/O-unit);
3. De MP verzamelt de benodigde gegevens en slaat deze in zijn registers op;
4. De MP voert met de gegevens de opgedragen handeling uit en levert het resultaat af (bijv. aan de I/O-unit);
5. De MP haalt uit het programmageheugen de volgende instructie. Deze handeling wordt cyclisch meerdere keren herhaald tot de laatste instructie van het programma is afgewerkt.

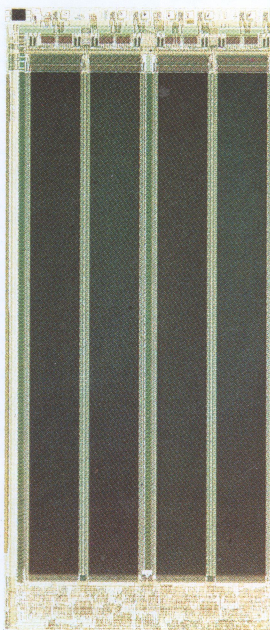
Afb. 24

Geheugens

Geheugens hebben de taak, gegevens en instructies voor de informatieverwerking gereed te houden resp. de verwerkingsresultaten op te nemen. In de computertechniek wordt tussen werkgeheugen en perifere geheugens onderscheid gemaakt. Het eerste dient als tussengeheugen tijdens de verwerkingshandeling; de laatste hebben tot taak de blijvende opslag van verwerkingsresultaten en programma's. Van het werkgeheugen wordt verlangd, dat het zeer snel is, zodat de verwerking niet wordt vertraagd. Perifere geheugens daarentegen dienen grote hoeveelheden gegevens betrouwbaar en economisch op te slaan. Voor de snelle toegang en het snelle in- en uitlezen van gegevens zijn deze slechts beperkt geschikt. Deze verschillende technisch-economische voorwaarden zijn de reden waarom in computers verschillende soorten geheugens worden gebruikt. Als werkgeheugen werden vroeger overwegend magnetische kerngeheugens toegepast, die vanaf ongeveer 1973 door halfgeleidergeheugens werden vervangen. Bij deze halfgeleidergeheugens valt een voortdurende stijging van de capaciteit waar te nemen. Dit houdt verband met het opvoeren van de integratiedichtheid.
De vraag naar nog hogere capaciteiten voor de opslag van gegevens is een stuwende kracht voor alle verdere inspanning om de integratiedichtheid te verhogen.

Zoals reeds vermeld, hebben de grootste in 1983 op de markt verkrijgbare dynamische geheugenmodulen een opslagcapaciteit van 65.536 bit (= 64 Kbit). Deze wordt met 150.000 schakelelementen op een siliciumkristal van 22 mm^2 chipoppervlak gerealiseerd. Dit is een indrukwekkend en duidelijk beeld van de voortschrijdende integratiegraad: binnen een tiental jaren is het benodigde oppervlak voor een computer-opslagunit van deze grootte tot 1/380 verkleind; de prijs per bit zakte met de factor 20.

De volgende generatie van dynamische geheugenmodulen met een capaciteit van 256 Kbit en meer dan een half miljoen transistoren is in 1984 op de wereldmarkt verschenen. Uiteraard zal ook Siemens tot de fabrikanten behoren.



Afb. 25 De deskundigheid om hoog geïntegreerde geheugenmodulen te vervaardigen, geldt als toetssteen voor het technologische prestatievermogen in de micro-elektronica. Als eerste Europese onderneming lukte het Siemens een proefmodel van een 256-Kbit-geheugen te vervaardigen. De chip bevat meer dan een half miljoen transistoren op een oppervlak van 5 x 9 mm. Hierop kan de inhoud van 16 tot 24 getypte vellen A4 worden ondergebracht.

Microcomputer-software

Microcomputer-software is een verzamelnaam voor de in relatie met microcomputers gebruikte programma's. Uitgangspunt voor het opzetten van een computerprogramma is de geordende weergave van een bepaald verloop in een goed plan, bijvoorbeeld een blokschema of structogram.

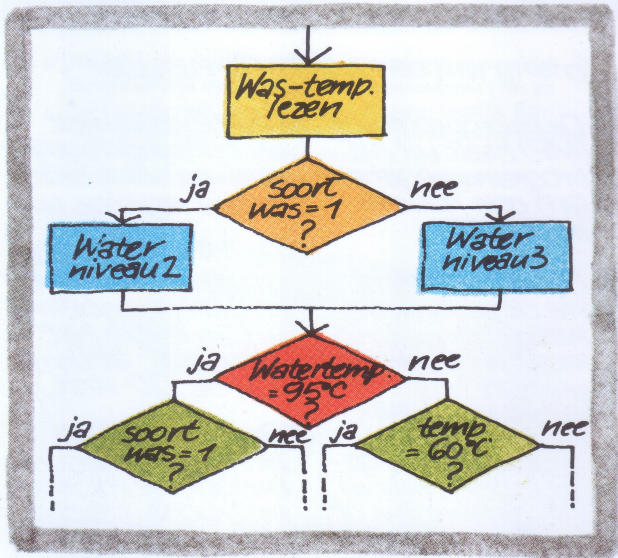
Afbeelding 26 toont een gedeelte uit een blokschema van een wasmachineprogramma. Hieruit blijkt duidelijk dat rekening moet worden gehouden met alle denkbare situaties die dan in exact gedefinieerde handelingen vertaald moeten worden.

Elk programma bestaat uit een reeks instructiewoorden. Lengte en grootte van elk woord dienen precies met de voor elke programmeertaal geldende regels overeen te komen. De door de programmeur gebruikte instructiewoorden zijn aan de woordvoorraad van een bepaalde programmeertaal ontleend, bijvoorbeeld Assembler, BASIC, PL/M, PASCAL. Deze instructiewoorden uit het bronprogramma zijn echter voor de microprocessor niet begrijpelijk. Daarom moeten zij, alvorens in het programmageheugen te worden opgeslagen, in een machinetaal worden omgezet. Een taal waarin de afzonderlijke instructiewoorden slechts uit een reeks van binaire getallen bestaat. Deze omzetting wordt met behulp van een vertaalprogramma op een computer uitgevoerd, die bij microprocessors soms een speciaal voor dit doel ingerichte microcomputer is. Afbeelding 27 laat de omzetting van een reeks instructies van de Assemblertaal in dienovereenkomstige binaire getallen zien voor een wasmachineprogramma.

Het tekort aan gekwalificeerde microcomputerprogrammeurs is een werkelijk probleem bij het invoeren van de microcomputer in onze industrie en zal dit ook in de eerstkomende jaren blijven. Daarom is de opleiding van gekwalificeerde computerspecialisten een belangrijke taak voor de overheid, fabrikanten en gebruikers van microcomputers.

Siemens heeft sinds 1976 eigen microcomputerscholen, waar tot dusver ruim 20.000 cursisten in programmering en gebruik van microcomputers werden opgeleid. Deze opleidingen vonden plaats in München, Düsseldorf, Wenen, Zürich, Brussel en Den Haag.
Bovendien verzorgt Siemens ook cursussen bij de gebruikers van microcomputersystemen.

Gedeelte uit een blokschema van een wasmachinebesturing



Afb. 26

Afb. 27

Bronprogramma (Assembler)		Objectprogramma in machinetaal (binaire getallen)
. . .		
IN	2	0001000010101010 1101101100000010
MOV	TEMP, A	0001000010101100 00100111
MVI	A, 1	0001000010101101 1011111000000001
CMP	FLAG 1	0001000010101111 10111001
JZ	EQUAL	0001000010110000 110010101101100100010000
LDA	NIV 2	0001000010110011 001110101110000000010100
JMP	STOR 1	0001000010110110 110000111011110000010000
NOP		00000000
LDA	NIV 3	0001000010111001 001110101110000100010100
NOP		00000000
STA	R 54	0001000010111100 001100101110001000010100
MVI	A, 95	0001000010111111 1011111001011111
CMP	TEMP	0001000011000001 10111000
JZ	TMP 95	0001000011000010 110010101101000000010000

Perspectieven van de chip

Perspectieven van de chip

De ontwikkelingen in de micro-elektronica zijn van invloed op vrijwel alle gebieden van onze samenleving. De micro-elektronica - en met name de chip - leidt tot nieuwe produktconcepten en opent nieuwe markten. Zij draagt tevens bij tot de oplossing van actuele maatschappelijke problemen door een verantwoord gebruik van grondstoffen, vermindering van de aantasting van het milieu en het beperken van geestdodende en gevaarlijke arbeid.

Research en ontwikkeling

De micro-elektronica is één van de gebieden, waarop Siemens omvangrijk research en ontwikkelingswerk verricht.

Jaarlijks besteedt het concern circa 4 miljard gulden aan de verbetering van bestaande en aan de ontwikkeling van nieuwe produkten en systemen. Zo wordt ruim 50% van de omzet behaald met produkten die pas in de laatste vijf jaar werden ontwikkeld.

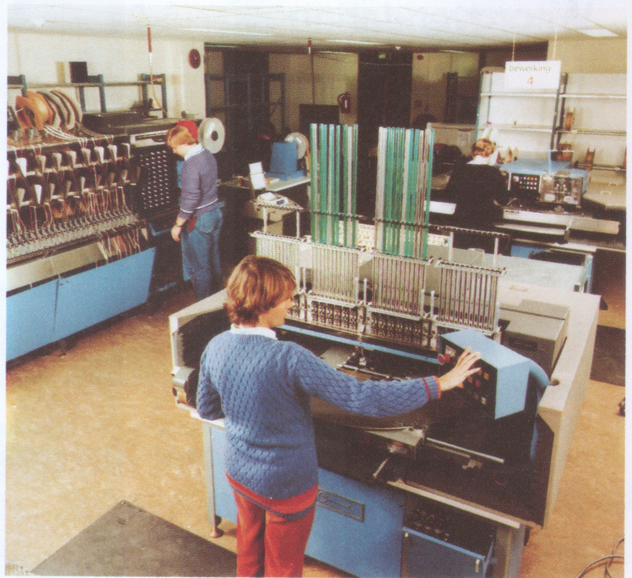
Siemens in Nederland

In ons land zijn ruim 1800 Siemens medewerkers dagelijks actief op alle terreinen van de elektrotechniek en de elektronica.
Hun werkterrein omvat energievoorziening, communicatietechniek, gezondheidszorg, automatisering, beveiliging, verkeerstechniek en huishoudelijke apparatuur.

Elektronicaproduktie in Woerden

De activiteiten in de elektronica sector omvatten o.a. de ontwikkeling en produktie van elektronische systemen, inclusief software. Daarvoor beschikken wij in Woerden over een moderne produktievestiging, die is uitgerust met zeer geavanceerde produktie- en testapparatuur. Ontwikkeling en produktie geschieden naar eigen ontwerp of volgens specificatie van de afnemers.

Via Siemens heeft u toegang tot een schat aan nationale èn internationale kennis en ervaring.



**Afb. 28 Onze Produktie Elektronica te Woerden vervaardigt, specifiek voor afnemers ontwikkelde, elektronische subunits, produkten en apparatuur.
Op de foto een overzicht van „bewerking 4", waar de automatische assemblage van printed circuit boards plaatsvindt.**



Afb. 29 Moderne test- en controle-apparatuur maakt het mogelijk de produktie van complexe elektronische circuits optimaal functioneel te testen.

Woordverklaring

Actoren

Verzamelbegrip voor omvormers, die elektrische signalen in een mechanische beweging omzetten. Tegenhanger van de actor is de sensor.

Algoritme

Oorspronkelijke betekenis: regels voor rekenmethoden.
De betekenis in algemene zin is inmiddels geworden: regels voor het oplossen van ook niet-mathematische opgaven met behulp van de computer.

Analoge schakelingen

De elektrische parameter (stroom, spanning) komt qua verloop voortdurend met de weer te geven waarde overeen. Voorbeeld: de wijzeruitslag van een voltmeter volgt constant de aanwezige spanning, d.w.z. de aanwijzer kan - anders dan bij digitale aanwijzers - elke willekeurige tussenwaarde aannemen.

Besturingssoftware

Speciaal voor de desbetreffende computer (hardware) geschikt programma, dat o.a. de verwerking van een *gebruikers*programma regelt.

Binair

Latijn = bini = elk twee.
Een binaire weergave bevat slechts twee verschillende grootheden, bijvoorbeeld 0 en 1, overeenkomstig stroom - geen stroom, of spanning - geen spanning.

Binair systeem

Getallensysteem met 2 als basis. Dit kent slechts twee cijfers: 0 en 1.
Ter vergelijking: het gebruikelijke decimale systeem heeft 10 als basis en gebruikt de tien cijfers van 0 tot 9.

Bus

Een verbindingssysteem in computers voor de overdracht van gegevens- en stuursignalen.

CAD/CAM

Computer Aided Design resp. Computer Aided Manufacturing - construeren met behulp van de computer op het beeldscherm resp. produceren met behulp van de computer.

Chip

Engels = schijfje
Uit het siliciumkristal gesneden rechthoekig schijfje (grootte 10-40 mm^2), waarin de schakeling is geïntegreerd.
De ingekapselde en van aansluitpennen voorziene chip is een complete schakeling, bijvoorbeeld een microprocessor.

CPU

Central Processing Unit
Centrale verwerkingseenheid van een computer inclusief reken- en besturingslogica. De CPU van een microcomputer is een microprocessor.

Databank

Een archief (gegevensbestand) dat via de computer toegankelijk is. In tegenstelling tot oorspronkelijke (papiergebonden) archieven meestal uitgerust met een zoeksysteem met zeer groot vermogen voor het snel vinden van bepaalde informatie.

Digitaal

Latijn = digitus = vinger
Betekenis ongeveer in de zin van „trapsgewijs" in waarden (getallen) weergegeven".

Digitale schakeling

In digitale schakelingen worden de waarden niet voortdurend (dus bijvoorbeeld vanaf een schaal herleidbaar), maar in trappen met een impulsreeks van een getallenwaarde gekenmerkt. Het gebruikte getallensysteem is het binaire systeem. Computers werken bijvoorbeeld door middel van digitale schakelingen.

Dotering

Latijn = dotare = uitrusten
In de halfgeleidertechniek het bewuste inbrengen van vreemde atomen in het in zuivere toestand niet geleidende basismateriaal (bijvoorbeeld silicium of germanium). Al naar gelang de dotering, bijvoorbeeld met fosfor of borium, wordt de halfgeleider n- resp. p-geleidend (n = negatieve resp. p = positieve ladingdrager).

EPROM

Eraseable PROM = uitwisbare PROM
Het uitwissen van de opgeslagen informatie vindt plaats door inwerking van UV-licht.

FET (Field Effect Transistor)

Veld-effect-transistor
Door een elektrisch veld en niet, zoals bij de bipolaire transistor, een door stroomgestuurde transistor.

Gebruikersprogramma

Een reeks van instructies voor het oplossen van een bepaalde opgave met de computer.

Geïntegreerde schakeling

Afkorting: IC (Integrated Circuit)
Geïntegreerd circuit, waarin een veelvoud van microscopisch kleine schakelelementen (overwegend transistoren) op een chip worden aangebracht en tesamen een omvangrijke (schakel)functie vormen.

Halfgeleider

Een groep van materialen (bijvoorbeeld silicium of germanium) die in zuivere toestand elektrisch niet-geleidend zijn, maar door het toevoegen van kleine hoeveelheden doteerstof geleidend worden. Halfgeleiders zijn de grondslag van talrijke elektronische componenten, bijvoorbeeld van transistoren en geïntegreerde schakelingen.

Hardware

De materiële bestanddelen van een toestel of een elektronische schakeling, zoals bijvoorbeeld behuizing, transistoren, draden en chips, in tegenstelling tot immateriële bestanddelen bijvoorbeeld programma's (software).

Informatica

De leer van het weergeven, overdragen en verwerken van informatie. Speciaal met betrekking tot de verwerking met computers.

Integratie

Latijn = samenvatten, een geheel uitmaken.
Een techniek in de micro-elektronica, waarmee zeer veel schakelelementen (meestal transistoren) op een chip worden samengebracht.

Interface

Gedefinieerde overgangsplaats tussen verschillende functie-eenheden of apparaten. De duidelijke definitie van een interface bij elektronische schakelingen en apparaten heeft ongeveer dezelfde betekenis als de normering van boutverbindingen, zodat men de garantie heeft dat bout en moer ook in elkaar passen.

LED

Licht-emitterende diode.
Een diode (halfgeleider component), die door middel van spanning licht emitteert.

Logische schakelingen

Schakelingen waarmee bepaalde logische verbindingen worden gerealiseerd. Door combinatie en rangschikking van enkele basisschakelingen worden de benodigde functies opgebouwd: optelnetwerken, tellers, geheugens, microprocessors, enz.

LSI

Large Scale Integration = integratie in het groot.
Bijvoorbeeld een chip met meer dan 5.000 transistoren.

Machinetaal

In nullen en enen omgezet programma, dat zonder verdere bewerking in de computer kan worden verwerkt.

Maskers

Glazen platen met een dunne metaallaag, waarin de microscopisch kleine structuren van de afzonderlijke schakelelementen zijn geëtst. Maskers zijn de „fotonegatieven", die voor het overbrengen van de schakelstructuren op het halfgeleidermateriaal dienen. Door de maskers heen wordt een fotolak op het siliciumkristal belicht.

Microcomputers/minicomputers

Min of meer kleine computers. Thans bedoelt men met microcomputers meestal een computer die een microprocessor als centrale stuur- en rekeneenheid gebruikt.

Microprocessor

De centrale eenheid in een microcomputersysteem, die de stuur- en rekenfuncties uitvoert. Deze komt overeen met de centrale unit van grotere computers.

MOS-transistor

Veldeffect-transistor (FET) met de lagenreeks metaal, oxyde, silicium.

MOS-techniek

Techniek van de vervaardiging en toepassing van geïntegreerde MOS (metal oxide semiconductor) schakelingen.

Optocouplers

Het via licht doorgeven van elektrische signalen zodat ingang en uitgang toch elektrisch van elkaar gescheiden zijn. Lichtemitterende dioden en fototransistoren zijn modulen van optokoppelingen.

Planaire techniek

De belangrijkste technologie voor het produceren van geïntegreerde schakelingen. Deze leidt tot een laagsgewijze, vlakke (planaire) opbouw van alle schakelstructuren in het oppervlak van een half-geleiderkristal.

Programma

Serie van instructies voor het oplossen van een opgave met de computer. Er zijn verschillende programmaniveaus. De computer begrijpt slechts „0" en „1" (machineprogramma); voor de mens is een instructielijst in woorden behorend bij een bepaalde programmeertaal (bronprogramma) meer begrijpelijk.

Programmeertaal

Speciale taal met vastgelegde begrippen en regels voor het opstellen van computerprogramma's. Gangbare programmeertalen zijn bijvoorbeeld PASCAL, PL/M, BASIC, FORTRAN, COBOL, Assembler.

PROM (Programmable ROM)

Door de gebruiker te programmeren ROM.

Procesbesturing

Het beïnvloeden van een procesverloop (bijvoorbeeld in de chemie, in de halfgeleiderfabricage of in een wasmachine), zodat bepaalde werkwijzen, waarden en toleranties worden aangehouden.

RAM

Random Access Memory
Geheugen, waarbij de ingang vrij wordt gekozen, d.w.z. elke geheugenplaats is individueel adresseerbaar.

ROM

Read Only Memory
Geheugen met een vaste inhoud („alleen-lees-geheugen")

Sensor

Verzamelnaam voor omvormers, die de fysische grootheden (bijvoorbeeld druk, temperatuur, beweging) in elektrische signalen omzetten. Tegenhanger van sensor: actor.

Silicium

Halfgeleiderstof, dat gewonnen wordt uit kwartszand. Silicium heeft gunstige verwerkingseigenschappen en is qua elektrisch gedrag zeer stabiel. Heden ten dage het belangrijkste halfgeleidermateriaal voor elektronische componenten.

Siliciumkristal

Het zuiverste silicium, waarin door een speciaal proces de rangschikking van de atomen regelmatig tot stand gekomen is (monokristallijn). Alleen zulk monokristallijn (zeer zuiver silicium) is voor micro-elektronische schakelingen geschikt.

Software

Verzamelbegrip voor de in relatie met computers gebruikte programma's (besturingssoftware en gebruikersprogramma's).

Terminal

Een apparaat voor de in- en uitvoer van informatie in een computersysteem, bijvoorbeeld een beeldscherm met toetsenbord.

Transistor

Halfgeleidercomponent voor het versterken of schakelen van elektrische signalen. Transistoren hebben bijna alle functies van de vroeger gebruikelijke elektronenbuizen overgenomen.

TTL

Transistor-Transistor-Logica
Schakelprincipe voor logische modulen zoals EN-poort enz., alsmede aanduiding voor een familie van geïntegreerde schakelingen volgens dit schakelprincipe.

VLSI

Very Large Scale Integration
Geïntegreerde schakelingen met meer dan 50.000 transistoren op één chip.